シーケンス制御系設計実習装置の製作と実習プログラムの作成

（豊田工業高等専門学校）〇兼重明宏，河合光久，後野昭次，大竹啓之，永井駿介

１．まえがき

高専卒業生の多くは，研究開発や生産技術といった「ものづくり分野」で活躍している．中でも生産技術は，高品質な製品をより効率的に生産することが求められ，そのための自動化設備，その要素技術は必要不可欠である．

一方，自動化設備の要素技術である，制御技術，メカトロニクス技術は，情報処理技術の発達に伴い急速な進歩や国際的な標準化が進み，これまで以上に，より高度な専門的知識とスキルが必要となってきており，高専教育においても様々な試みが実施されている[1)～3)]．

これらの制御技術や情報処理を基礎とする制御機器教育は，ある程度経験を要するスキル教育の一面もあり，カリキュラム上の時間的制約や人員配置上の制約などから，これらの教育を教育課程の中に組み込むことは難しく，効果的な教育方法が求められる．

そこで本報では，限られた時間で基本的な制御機器構成の学習ができ，シーケンス制御設計プロセスを学習できることを目標に，PLC（Programmable Logic Controller）によるシーケンス制御実習装置の製作と，それを用いたシーケンス制御系設計実習プログラムの作成について報告する．これによりシーケンス制御の基礎から生産現場で用いられる搬送設備の擬似的な制御系設計，センサなどの制御機器に対する理解，PLC による制御内容の変更に対する容易さを体感するといった教育効果が期待できる．

２．対象学生と装置概要

本実習プログラムは，本校機械工学科 3 年生を対象とする．この学年では，論理回路やコンピュータの基礎を学ぶ「情報処理」，「電気電子回路」の授業があるが，これまでシーケンス制御設計に関わる教育はほとんど実施していなかった．そこで，電気電子回路の一コマ（90 分）で，論理回路の延長として，ラダー線図によるシーケンス制御設計に関する基礎的な授業を実施し，その演習として，同学年で実施している「創造総合実習」1 回 135 分で，シーケンス制御系設計実習の実施を試みた．図 1 に製作したシーケンス実習装置を示す．

実習装置は，コンベア部，制御ボード，PLC 部，パソコン（PC）で構成されている．

コンベア部は，モータ駆動によりチェーンベルトでローラを回転させ製品搬送を行う．また，検出器として 3 種類（物体反射型，ミラー反射型，透過型），計 5 個の光電センサ，表示器として 3 色表示灯を備え，制御機器の学習もできるように工夫した．

制御ボード部は，動作を実行させるための押しボタンスイッチ，動力ブレーカー，非常停止スイッチ，リレーによって構成されている．

PLC 部として三菱電機社製の「Q00JCPU」を使用し，PLC とプログラム用 PC は RS232C ケーブルで接続し，プログラムの書き込みや変更を行う．また，それぞれに端子台がついており，制御機器の変更や追加が容易に行える．

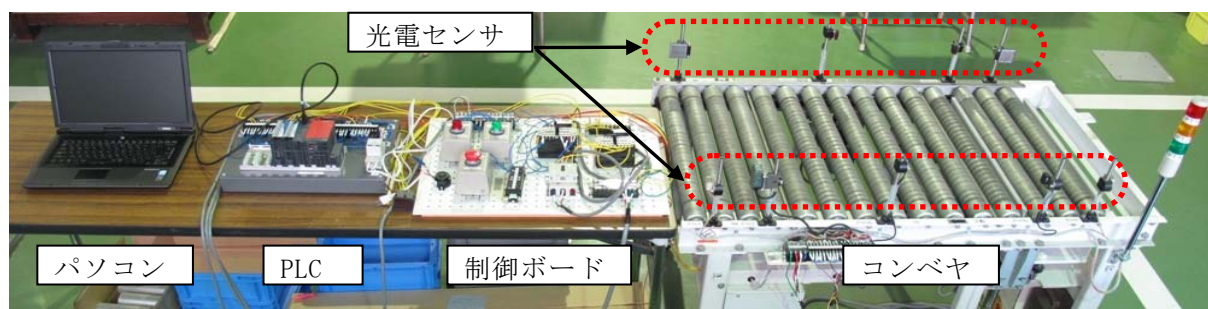



図１　シーケンス制御実習装置

今後も必要に応じて様々な制御機器の追加・拡張ができるようにしてある.

３．実習形式とプログラムの作成

実習は一クラスを４班(10 人程度/班)に分け，各班 135 分で実施する．プログラム作成用パソコン（PC），2～3 人/台で実習を行い，そのうちの１台はシーケンサとRS232Cケーブルで常時接続されているもの（マスタ PC）である．作成したプログラムは，USB メモリを用い，マスタ PC から PLC へ書き込みを行う．そして，プログラムの動作を確認し，必要に応じて修正を繰り返し,設定問題を行っていく.実習終了時には,リレーとセンサの基礎的事項の調査課題と実習報告書を提出させる.

なお，プログラムの作成は三菱電機社製「GX Developer」を使用している．このソフトウェアは，ラダーダイアグラム方式であり，プログラム作成が視覚的に分かり易く簡単にできるため,短時間の実習に適したものだと考えられる．図２にラダー図を用いた自己保持回路のプログラムを示す.

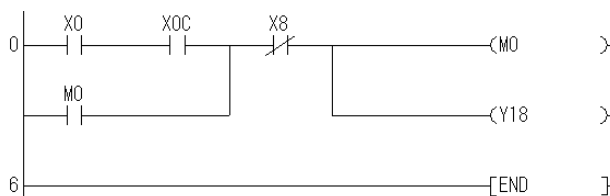



図２　ラダー図で作成したプログラム

４．実習プログラムの作成

限られた時間で効率よく，興味をもちながら学んでもらうための教育プログラムを作成した．なお，実習資料は紙数の都合上，省略する.

４．１ 資料の作成

(1)　シーケンス制御実習資料

実習の本筋となるもので，実習はこの資料に従って実施する．自己保持回路など基本動作を細分化したプログラム例を記載し，それを基に練習問題や課題を実施していく.

(2)　装置説明資料

各装置の役割や動作原理，装置全体の回路図などを記し，学習理解を助けるものである.

(3)　プログラム作成ソフトの取扱説明書

起動からプログラム製作，PLC への書き込みまでのソフトウェア操作方法を説明している.

４．２　実習課題の作成

実習の課題（練習問題，応用問題）は以下の点を考慮して作成した.

・　試行錯誤を促し，達成感が得られる
・　柔軟な発想を促すため，多様な解答がある
・　実際の製造現場の動作を想定する
・　時間の制約上，適当な難易度とする

これらを踏まえた練習，応用問題を以下に示す．なお，問題の装置記号は図３に対応したものである.

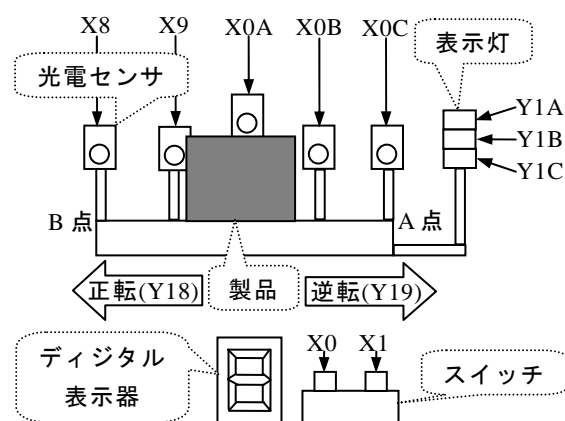



図３　装置記号対応図

４．２．１ 練習問題

A 地点から B 地点まで製品を運び，検査するプログラムをＡ～Ｄの順序で作成する.

【練習問題Ａ】

A 地点に製品がある状態から，センサ X0C が反応している状態でスイッチ X0 を押すと正転し,その後センサ X8 が反応すると停止するプログラムを作成せよ.

この問題は，自己保持回路の学習確認を行うものである.

【練習問題Ｂ】

練習問題Ａに加えて，B 地点に製品がある状態から,センサ X8 が反応している状態でスイッチ X1 を押すと逆転し,その後センサ X0C が反応すると停止する回路を作成せよ．なお，正転と逆転にインターロックがかかっていること.

この問題は，自己保持回路に加え，機器の安全を確保するインターロック回路の学習確認を行うものである.

【練習問題Ｃ】

練習問題Ｂに加えて, 正転中のみ, センサ X0A が高さ超過により製品を検出すると，停止するように回路を追加せよ(センサの高さに合わせ，箱を２段とする）．さらに，停止後，上の箱を取り除いて製品の検査を行い，合格であればスイッチ X0 を押して正転させ, 不合格であればスイッチ X1 を押して逆転させるように回路を変更せよ．（検査の合否の判定は各自で自由に決めてよい）．

この問題は，装置動作をイメージしながら，論理的にプログラムを作成することを確認するためのものである．

【練習問題Ｄ】

練習問題Ｃに加えて, 正転中は緑ランプ(Y1C)を，逆転中は赤ランプ（Y1A）を点灯させるように回路を追加せよ．また，センサ X0A が反応するたびにその回数をカウントして表示器に表示するように回路を追加せよ．さらに，センサ X8 が反応している状態でスイッチ X1 を押すとカウントをリセットするように回路を追加せよ．

この問題は，ランプなどの様々な機器を制御し，これらが簡単なプログラムで動かせるということを学習してもらうためのものである．

４．２．２ 応用問題

応用問題は練習問題を終え，さらに応用的な問題を実施する学生のために用意した．

【応用問題Ａ】

スイッチ X0 を押すと, 3 秒後に赤ランプが点灯するプログラムを作成せよ．

また, スイッチ X1 を押すと, 赤ランプが消えるようにせよ．

【応用問題Ｂ】

リレーとタイマーを使って, スイッチ X0 を押すと１秒間隔で赤ランプが永久に点滅するプログラムを作成せよ．

【応用問題Ｃ】

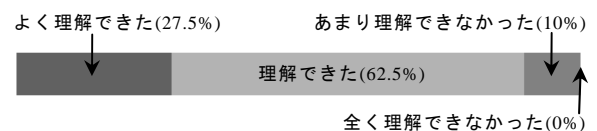
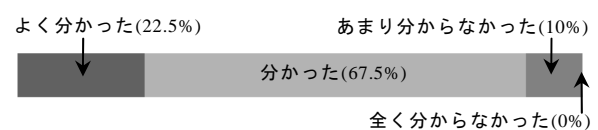
自分で問題を作成し，その通りに動くようにプログラムを作成せよ．

５．本実習プログラムの教育効果

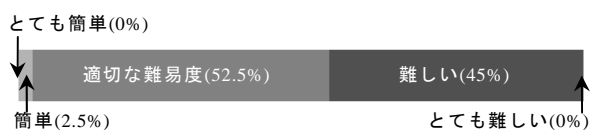
平成 20 年度，21 年度の 2 年間，本実習プログラムを用い実習を行った．本実習プログラムの教育効果について，平成 21 年度学生（46 名）からのアンケート結果から考察する．アンケート内容は以下の 5 項目である．

Q.1　シーケンス制御実習全体の理解度
Q.2　指導書の分かりやすさについて
Q.3　練習問題はどの問題まで解けたか
Q.4　問題の難易度について
Q.5　実習装置の構成についての理解度

アンケートの集計結果を図４に示す．理解度についての質問はすべて 9 割近い学生が「理解できた」と回答した．また，「全く理解できなかった」と回答した学生は一人もいなかったため，本実習プログラムにおいて一定の教育効果が得られたと考える．また，アンケート結果の記載には表れていないが，作成したプログラムが動作したときの達成感に充ちた学生の顔と後述の自由記述から，その教育効果は十分あると考える．以下に各項目の考察を述べる．

Q.1 シーケンス制御実習全体の理解度

Q.2 指導書の分かりやすさについて

Q.3 練習問題はどの問題まで解けたか

Q.4 問題の難易度について

Q.5 実習装置の構成についての理解度

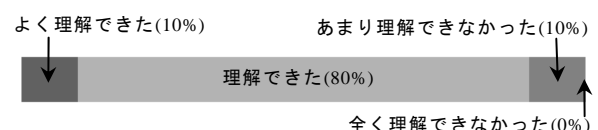



図４　アンケート結果

【Q.1　シーケンス制御実習全体の理解度】

9 割の学生が「理解できた」と回答し，「全く理解できなかった」と答えた学生はいなかった．残り 1 割の学生が「あまり理解できなかった」と回答したことについては，後述する問題点として，シーケンス制御系設計の論理的な思

考の訓練や文章理解ができていないことが挙げられる．

【Q.2　指導書の分かりやすさについて】

Q.1 と同様に，9 割の学生が「分かった」と回答し，「全く分からなかった」と答えた学生はいなかった．しかし，「あまり理解できなかった」との回答が 1 割であった．実習中，指導書の問題の意味を取り違えている学生がいたことが理由であると考えられる．実習時間の無駄を避けるためにも，視覚的に問題を把握できる指導書の作成が今後の課題である．

【Q.3　練習問題はどの問題まで解けたか】

自己保持回路とインターロックを使用する練習問題Ｂまでは，100%の学生が解くことができた．問題Ｂで終わった学生については，実習時の学生の取り組む姿勢の問題があった．問題Ｃで終わった学生については，論理的な思考の訓練不足，時間不足があると考える．その他の学生は問題Ｄまで完答でき, 15%の学生は応用問題に進めた．

共同作業のため，実習時の雰囲気による解答率の差もあるように感じる．問題説明や指導時の環境を整えることが今後の課題である．

【Q.4　問題の難易度について】

「適切な難易度」と「難しい」の回答がほぼ同数という結果となった．多くの学生が「難しい」と答えた理由として，論理的な思考に慣れていないことや問題文章の意味が分からないということが挙げられるが, 学生が答えを間違え，修正していくという作業により，問題解決していくという本実習の過程を考えるとある程度難しい問題が良いと考える．また，問題設定については，前問の回答からある程度適切であると考える．

【Q.5　実習装置の構成についての理解度】

9 割の学生が「理解できた」と回答し，「全く理解できなかった」学生はいなかった．実習冒頭での説明と課題で装置に調べてきたことに加え，資料も参考にできたためだと考える．

以下，自由記述について示す．

- 初めは難しいと感じたが，問題をやっていく内に面白くなり，問題を解く毎に理解できるようになった
- 実際に動くことで，実感できた
- 基本を理解すれば，応用は基本からのステップアップだということがわかった
- 直感的にプログラムができ，動作確認もでき，満足している
- ラダー図によるプログラムは簡単であった
- 問題は簡単だった
- 少しのミスで動かないことが面白かった
- 動くことに達成感がある
- 時間が気になり，混乱してしまった
- 条件が増える毎に大変になった
- 実習が終わって落ち着いて考えると，動作や仕組みが理解できた
- より多くのことを学ぶために時間が欲しい
- グループのメンバーで差が出てしまう

以上のことからも，学生の達成感，学習効果が確認できる．また，本実習の今後の課題も抽出できた．

７．まとめ

限られた時間で基本的な制御機器構成とシーケンス制御設計プロセスを学習できることを目標にしたシーケンス制御実習装置の製作と，それを用いたシーケンス制御系設計実習プログラムの作成を行った．搬送設備の擬似的な制御系設計問題に対し，試行錯誤の繰り返しによる実習を行うことで，学生の興味も湧き，効果的な教育が行えることをアンケートから確認した．機械工学を専攻する学生においても，電気電子制御機器の基本的な事項の教育は必要であり，主とするカリキュラムの他に，限られた時間でその教育を行うためには，本実習プログラムは有効であると考える．今後，学生からの意見を取り入れ，実習プログラムの改善を行い，高専における制御機器教育の一端となればと考える．

最後に，本実習装置の製作にご協力頂いたムラテック C.C.S（株）に感謝する．

参考文献

1)　例えば，堀内他：高専電子制御工学科における工学実験指導－シーケンサを用いた搬送制御実験システムの開発と授業評価－，長野高専紀要，第 33 号，pp.93-98(1999)
2)　例えば，上：明石高専電気電子工学実験資料－シーケンス制御，工学実験指導書．
3)　例えば，浜：函館高専機械工学科実験資料－リレーシーケンス，工学実験指導書．